

EMPREGO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO*

Alexandre Lorenzi

Mestre em Engenharia Civil – 2000 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil –
Universidade Federal de Santa Maria.

Doutor em Engenharia Civil – 2009 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Pós-doutor – 2012 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Pós-doutorando – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Pesquisador do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS.

Membro Fundador da Associação Brasileira de Patologia das Construções.

Diretor Financeiro da Associação Brasileira de Patologia da Construção - Biênio 2014-2016.

E-mail: <alexandre.lorenzi@ufrgs.br>.

Lucas Alexandre Reginato

Mestre em Engenharia Civil – 2014 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

E-mail: <lukas0910@gmail.com>.

Luciani Somensi Lorenzi

Professor Adjunto – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação – UFRGS.

Mestre em Engenharia de Produção – 1999 – Programa de Pós-Graduação em

Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Maria.

Doutor em Engenharia Civil – 2014 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Membro Fundador da Associação Brasileira de Patologia das Construções.

E-mail: <luciani.lorenzi@ufrgs.br>.

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Professor Associado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

Mestre em Engenharia Civil – 1994 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS.

PhD em Civil Engineering/Bridge Maintenance – 1998 – Leeds University/UK.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – 2009-2012.

Líder dos Grupos de Pesquisa LEME (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais) e

GRID (Gestão de Riscos em Desastres).

Presidente de Honra da Asociación Latinoamericana de Control de Calidad,

Patología y Recuperación (ALCONPAT Internacional).

Diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 2012-2016.

E-mail: <lcarlos66@gmail.com>.

Atuam nas áreas de materiais e estruturas de engenharia civil, com ênfase nos temas: durabilidade e vida útil de estruturas, patologia das construções, concretos especiais, materiais compósitos, reforço estrutural, análise e modelagem de sistemas estruturais, ensaios não destrutivos, efeitos de altas temperaturas em estruturas, segurança contra incêndio e pânico, perícias e avaliação de sistemas construtivos, redes neurais artificiais.

* O presente artigo foi publicado nos anais do 11º Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, promovido pela ALCONPAT-BRASIL.

RESUMO

O concreto é o elemento estrutural mais utilizado no mundo. Esse fato conduz à necessidade de ferramentas de controle e análise de seu estado de conservação. Muitas dos elementos em concreto armado que formam a infraestrutura das construções estão se aproximando do final de sua vida útil de projeto. Diante desse contexto, existe uma preocupação crescente sobre o estado de deterioração e segurança das mesmas. O monitoramento constante das estruturas é um procedimento necessário, uma vez que a detecção preventiva dos problemas permite a utilização de métodos mais simples e econômicos para avaliação e reparo. Para tais fins, os métodos de ensaios não destrutivos (END) tornam-se uma estratégia de investigação bastante atraente e viável. Entre eles destacam-se: o ensaio de velocidade de pulso ultrassônico, o radar, a termografia e a tomografia ultrassônica. Devido a sua facilidade de aplicação esses métodos demonstram grande potencial na investigação do estado de conservação das estruturas de concreto. Conclui-se que, por meio da aplicação de END, se pode contribuir com sucesso no controle da deterioração e qualidade das estruturas de concreto. O presente artigo evidencia como podem ser empregados os END para controle de estruturas de concreto e mostra estudos de casos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa LEME-UFRGS a respeito da aplicação dos mesmos.

Palavras chave: END. Estruturas de concreto. Avaliação de estruturas.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais empregado no mundo, depois da água. Em grande parte isto é decorrente da excelente durabilidade do concreto armado. Infelizmente, apesar de o concreto ser muito durável em certas circunstâncias, muitas estruturas fabricadas com o mesmo estão sujeitas a ambientes ou condições deletérias, que rapidamente degradam seu desempenho ou afetam sua integridade [1]. Fatores como a ocorrência de falhas de projeto; o uso de dosagens incorretas; o emprego de processos inadequados de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e descimbramento; além da utilização incorreta das estruturas de concreto, têm levado ao surgimento de manifestações patológicas, muitas vezes precoces e com custos elevados de reparação [2].

Nas últimas décadas, a aplicação de ensaios não destrutivos (END) na engenharia civil vem se tornando um tema de interesse em diversos países. No caso da indústria da construção civil, porém, que utiliza vários tipos de materiais (metais, madeira, concreto, alvenaria estrutural e outros compósitos), a utilização dos ENDs pode se tornar mais complexa, devido à necessidade de maior conhecimento acerca das propriedades e comportamento dos materiais. Beutel et al enfatizam que o uso de END para engenharia civil depende da confiabilidade da aplicação dos métodos, do conhecimento sobre a aplicação e de seu aspecto econômico [3]. Acompanhando a tendência mundial, no Brasil a aplicação de END

vem crescendo em vários setores. A engenharia civil ainda é um campo no qual a utilização dos END pode se desenvolver bastante, vindo a se constituir em uma importante ferramenta para auxiliar os profissionais envolvidos no controle de suas obras.

O uso de métodos de END é uma maneira de viabilizar a inspeção e a avaliação do estado de conservação de construções civis, de forma econômica e eficiente. Dada sua natureza predominantemente não invasiva, os ensaios tipo END se constituem em uma das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, e já são amplamente utilizados em diversas atividades, tais como na indústria aeroespacial, no ramo automobilístico, no ramo elétrico e na construção naval [4].

Considerando que a resistência está fortemente correlacionada com a densidade do material, pode-se utilizar os ensaios de ultrassom, de radar, de termografia e de tomografia ultrassônica para avaliar a mesma, sem que seja necessário retirar amostras do material. O presente artigo evidencia como podem ser empregados os ensaios de END para controle de estruturas.

2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

A aplicação de END se constitui em uma estratégia interessante para monitorar o estado das estruturas de concreto armado. Esta possibilidade é muito atraente por evitar que a investigação

da resistência provoque danos que podem ser caros de corrigir, ou que resultem num reparo cuja interface com o material original vai se constituir numa zona mais vulnerável à deterioração. Danos mal corrigidos podem acarretar numa redução da vida de serviço da estrutura.

A grande questão consiste em obter uma forma adequada de estimar a resistência de uma estrutura de concreto existente. Como salienta Isaia [5]: “Toda predição que se pretenda realizar para a vida útil de uma estrutura de concreto deve partir da modelagem matemática dos fenômenos e propriedades envolvidas, da maneira mais precisa possível, para que se possa chegar a um resultado confiável”. Isto nos leva a refletir sobre a maneira pela qual será possível procedermos a um controle efetivo da resistência nas estruturas de concreto.

Para esta finalidade, normalmente são utilizados corpos-de-prova moldados durante o processo de concretagem das estruturas. Entretanto, as condições de exposição e cura destes geralmente são bastante diferentes daquelas existentes na peça real, o que afeta diretamente a resistência. Diante deste problema, estimativas de resistência do concreto através da utilização de métodos de END, aplicados na estrutura real, passam a se constituir em uma possibilidade interessante de controle. Os END podem ser aplicados a cada fase da construção: tanto podem ser examinados os materiais como podem ser usadas as suas técnicas para então monitorar a integridade da estrutura durante a sua vida útil.

O documento TCS-17, produzido pela Agência Internacional de Energia Atômica [6], aponta várias situações específicas associadas à construção civil nas quais o emprego de métodos END pode ser considerado atraente:

- ♦ Controle tecnológico em pré-moldados ou construções in situ;
- ♦ Aceitação ou rejeição, de materiais fornecidos;
- ♦ Esclarecimento de dúvidas a respeito da mão de obra envolvida em mistura, lançamento, compactação ou cura do concreto, transporte;
- ♦ Monitoramento do desenvolvimento da resistência visando remoção de fôrmas, duração da cura, aplicação de Protensão ou de cargas, remoção de escoramento;
- ♦ Localização e determinação da extensão de fissuras, vazios e falhas de concretagem;
- ♦ Determinação da posição, diâmetro ou condições das armaduras;

- ♦ Determinação da uniformidade do concreto;
- ♦ Aumento do nível de confiança de um pequeno número de ensaios destrutivos;
- ♦ Verificar a deterioração do concreto resultante de sobrecarga, fadiga, fogo, ataque do meio ambiente;
- ♦ Avaliação do potencial de durabilidade do concreto;
- ♦ Monitoramento de mudanças das propriedades do concreto no decorrer do tempo;
- ♦ Fornecimento de informações para mudanças de utilização da estrutura.

Verifica-se que a maioria das vezes as aplicações estão associadas à localização e avaliação da importância de falhas e defeitos em estruturas de concreto endurecido. Este é hoje o objetivo principal do emprego de técnicas de END na construção civil.

2.1 VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO

No ensaio de velocidade de propagação do pulso ultrassônico (VPU), uma onda de som ultrassônica é projetada num material, sendo medida a velocidade de propagação da mesma, que vai depender da natureza do material, da sua porosidade e da presença de vazios ou de água no sistema de poros, entre outros fatores. Este ensaio pode ser considerado como um dos mais promissores para a avaliação de estruturas de concreto. Através da sua utilização consegue-se realizar um controle das variações da compacidade da estrutura, que pode ser associada a mudanças das suas propriedades.

Segundo a ASTM E 114-95 [7], o ensaio pode ser utilizado para controle da qualidade, detecção de defeitos, medição de espessuras ou caracterização dos materiais constituintes do concreto. A presença de vazios causa o retardo das ondas, em função da baixa velocidade do som no ar. A interpretação está, portanto, baseada no fato de que o tempo de propagação dos pulsos ultrassônicos pode ser correlacionado com a densidade do material.

Uma das vantagens é que, por ser rápido e não-destrutivo, o ensaio de VPU oferece a oportunidade de fazer um controle total dos elementos que compõem a estrutura, inclusive ao longo do tempo. Os resultados deste tipo de análise podem ser usados para prognóstico da qualidade ou para correção do processo tecnológico. A Figura 1 ilustra a execução do ensaio com um equipamento portátil de ultrassom.

Figura 1 - Execução do Ensaio de VPU.



Figura 2 - Execução do Termografia.



2.3 TERMOGRAFIA

A termografia infravermelha está baseada no princípio de que anomalias embaixo da superfície em um material afetam o fluxo de calor que passa por aquele material. Através dessas mudanças no fluxo de calor, localizam-se diferenças na temperatura da superfície. Medindo essa temperatura em certas condições de fluxo de calor, pode-se determinar a localização das anomalias. Sistemas termógrafos infravermelhos são usados para medir a intensidade de calor emitida por um material submetido a uma pulsação de calor. Uma área de defeito tem condutividade térmica diferente e se revela como uma área resfriada ou com manchas quentes.

Medindo essa temperatura em certas condições de fluxo de calor, pode-se determinar a localização das anomalias, todavia os resultados da termografia são apresentados em formas de termogramas. Os termogramas são gerados pelos termógrafos infravermelhos, usados para medir a intensidade de calor emitida por um material submetido a uma pulsação de calor. Uma área de defeito tem condutividade térmica diferente e se revela como uma área resfriada ou com manchas quentes (Bauer et al. [8]). A termografia é utilizada em estruturas de concreto para detectar defeitos, que têm condutividade térmica mais baixa do que o concreto [9]. A Figura 2 ilustra a execução do ensaio de termografia.

2.3 TOMOGRAFIA ULTRASSÔNICA

A tomografia ultrassônica é um método não destrutivo que possibilita diagnósticos do concreto que podem ser utilizados para melhorar o controle de qualidade do mesmo e auxiliar na tomada de decisão de serviços de reparo ou reabilitação das estruturas de concreto. Contudo, a detecção de falhas através da tomografia requer um esforço significativo e experiência do usuário [10].

De maneira a executar uma análise tomográfica de postes de concreto foi utilizado um tomógrafo 3D. De forma a realizar a análise, o tomógrafo utiliza ondas de cisalhamento e é um sistema capaz de gerar imagens 3D tomográficas de elementos de concreto, possibilitando a detecção de falhas em estruturas desse material. A Figura 3 mostra uma vista do tomógrafo utilizado [11].

A aplicação desta ferramenta é um meio eficiente para criar uma representação tridimensional de defeitos internos, que podem estar presentes em um elemento particular [12]. Através da utilização do tomógrafo é possível proceder a um controle de qualidade das estruturas de concreto armado com a finalidade de determinar a sua integridade e a presença de defeitos na estrutura, tais como: fissuras, heterogeneidades, falhas de concretagem, entre outros. Também é possível

Figura 3 - Tomógrafo A1040 – MIRA.



medir a espessura do objeto que está sendo examinado. Segundo o fabricante, é possível configurar o aparelho para efetuar leituras em espessuras de até 2 metros.

3 ESTUDOS DE CASO – END PARA CONCRETO

3.1 ESTUDO DE CASO 1

O presente estudo de caso retrata os resultados dos ensaios de VPU realizados em uma série de elementos de concreto. As estruturas examinadas fazem parte de um conjunto de elementos estruturais nos quais o controle tecnológico, realizado através de corpos de prova moldados de concreto in loco, indicou que não foi atingida a resistência de projeto especificada. Este indicativo levantou dúvidas sobre a efetiva condição, em termos de resistência, dos referidos elementos, o que conduziu à realização do estudo.

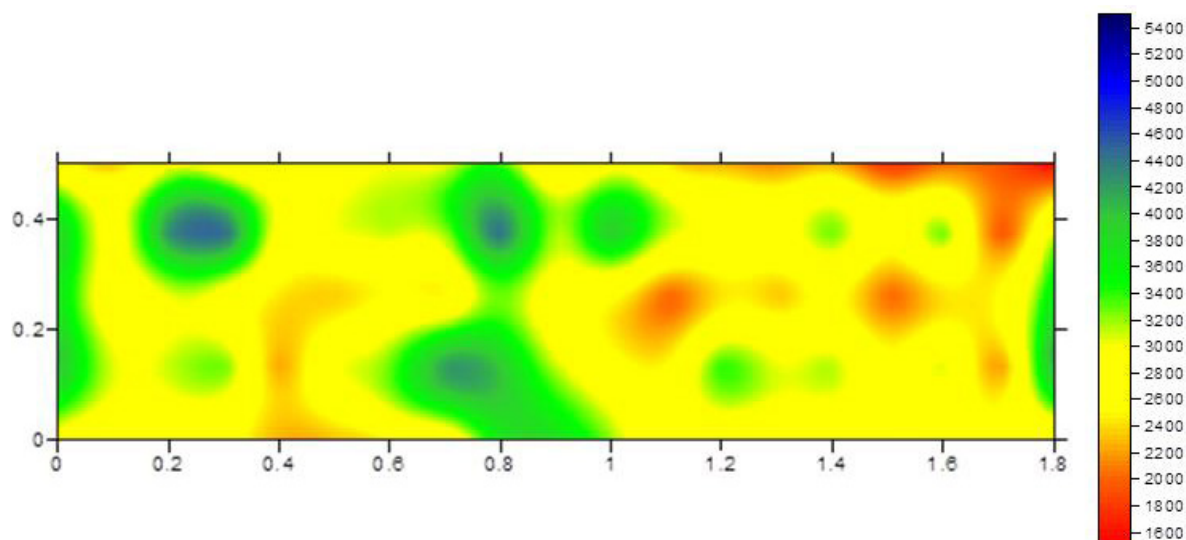
O objetivo principal foi para mapear a homogeneidade do concreto dos elementos de interesse, coletando dados que permitissem avaliar comparativamente as características dos mesmos

com a de outros elementos onde os corpos de prova de controle haviam produzido resultados satisfatórios.

Para realização das medições foram criados grids nas faces dos elementos, com espaçamento variável, de acordo com as dimensões do elemento a ser examinado. Nos pilares de seção 50 x 60 cm e no bloco de fundação o grid utilizado foi de 20x25cm. Nos pilares de seção 60 x 60 cm e 80 x 80 cm, o grid foi de 25x25cm. Durante a marcação do grid foi necessário preparar a superfície em alguns locais, para reduzir a rugosidade e permitir um melhor contato entre o transdutor e a superfície do concreto. A estratégia usada consistia na fixação do transdutor emissor no ponto central de um quadrante do grid. O transdutor receptor era então posicionado nos 8 pontos em torno do emissor, resultando em 8 leituras de tempo de propagação de pulso, que caracterizavam aquele quadrante.

As Figuras 4 e 5 apresentam as imagens geradas com as leituras de VPU de blocos de fundação. As velocidades registradas variaram entre 2400 e 3800 m/s. Em geral o concreto apresenta uma qualidade regular, com registros de zonas mais compactas na parte inferior e zonas menos compactas na parte superior dos blocos, como esperado.

Figura 4 - Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico.



As leituras de tempo obtidas durante os ensaios de VPU foram transformadas em leituras de velocidade através da divisão da distância entre os pontos de medição pelos valores de tempo. As variações de velocidade foram mapeadas graficamente através da utilização de um software de geração de curvas de nível, facilitando a visuali-

zação das variações na homogeneidade, compactidade e integridade de cada elemento.

Para estabelecer um padrão de comparação foi examinada região considerada como de qualidade adequada pelo controle tecnológico. A imagem gerada para este caso está apresentada na Figura 6.

Figura 5 - Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico.

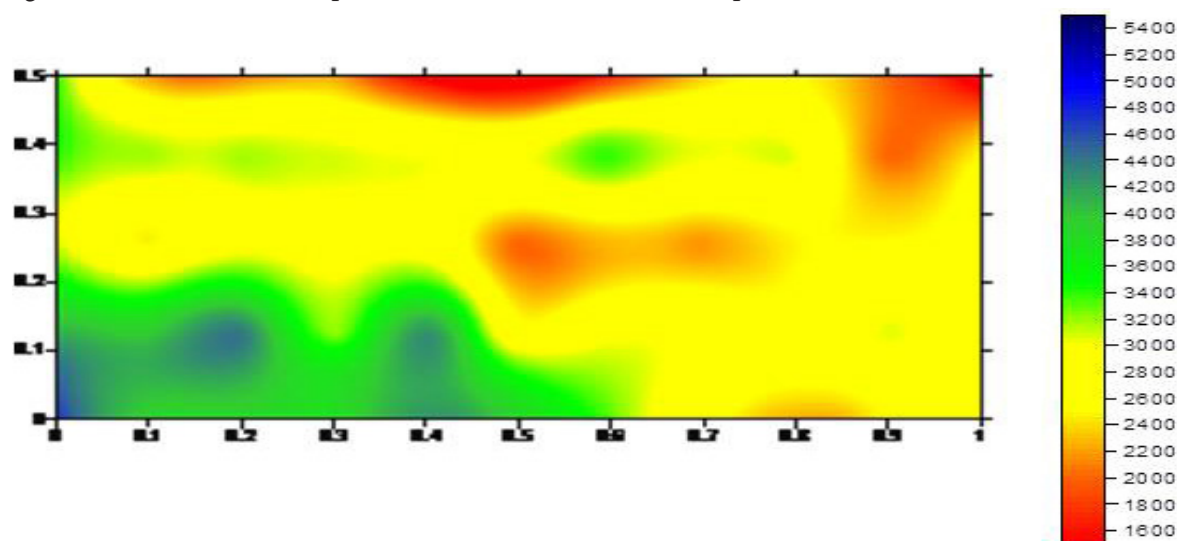
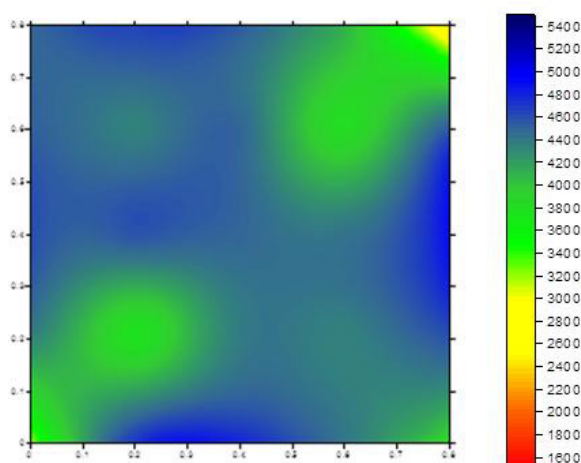


Figura 6 - Resultados do mapeamento dos dados do ensaio de pulso ultrassônico – Região Boa.



Analisando a figura gerada a partir dos resultados verifica-se que, de fato, a qualidade de concreto nesta região é obviamente superior, sendo que as leituras se mostraram bem mais homogêneas e a velocidade média atingiu aproximadamente 4400 m/s, indicando um concreto de excelente qualidade.

Os resultados de mapeamento das leituras de VPU permitem identificar que existem diferenças nas características dos concretos empregados. Considerando os resultados obtidos pode-se afirmar que a hipótese de que os concretos de todos os elementos analisados apresentam características similares não pode ser aceita. A partir da análise dos resultados verifica-se que os elementos ensaiados podem ser divididos em grupos com características genéricas distintas, que apresentem boa correspondência com os diferentes lotes

de concretagem. Os ensaios realizados indicaram que os concretos das regiões sob suspeita apresentavam características inferiores ao concreto de referência, resultantes de variações na resistência à compressão e/ou presença de falhas e defeitos de concretagem.

3.2 ESTUDO DE CASO 2

O presente estudo de caso demonstra a aplicação prática da tomografia ultrassônica em um segmento de poste de concreto armado. Este estudo se baseou na aplicação da tomografia para detectar defeitos internos em postes de concreto armado utilizados comumente pelas companhias distribuidoras de energia elétrica. A varredura foi realizada ao longo do comprimento do segmento de um poste do tipo “duplo T”, como pode ser observado na Figura 7.

Para esta varredura, utilizou-se um grid de leitura de 10 x 25 cm (vertical x horizontal), com e frequência de 30 kHz e velocidade de pulso de 2400 m/s. Uma vez adquiridos os dados ao longo de todas as linhas de varredura, os resultados obtidos foram inseridos no software I-DEAL Viewer, que gera uma imagem 3D das interfaces refletidas do elemento. Nas imagens geradas através do software I-DEAL Viewer, pode-se visualizar as diferentes interfaces presentes no segmento de poste analisado. As Figuras 8 e 9 ilustram os resultados obtidos.

Na Figura 8 podem ser visualizados os estribos presentes no segmento de poste, bem como o seu espaçamento. Já na Figura 9 visualiza-se os resulta-

Figura 7 - Segmento de poste analisado (a), leitura com tomógrafo MIRA (b).



(a)



(b)

dos das leituras no sentido longitudinal do poste, onde é possível identificar a armadura longitudinal do elemento e um duto embutido no concreto que serve para receber a fiação elétrica do mesmo.

Figura 8 - Visualização dos estribos presentes no poste utilizando tomografia.

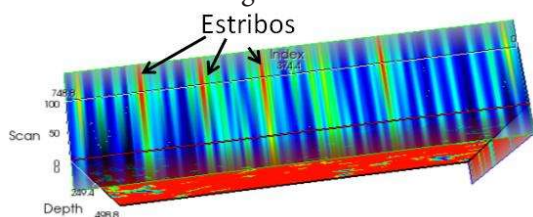
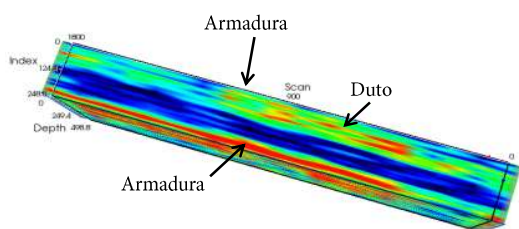


Figura 9 - Resultados do ensaio ultrassônico através da aplicação da termografia.



3.3 ESTUDO DE CASO 3

O presente estudo de caso ilustra a análise da tomografia ultrassônica. A Figura 10 ilustra como ficaram danificados os postes após a ocorrência do sinistro que fez com que grande parte da região central do Rio Grande do Sul ficasse sem energia elétrica por, pelo menos, uma semana.

Este estudo representa a análise de três elementos escolhidos aleatoriamente dentre os diversos elementos sinistrados, tomando-se o cuidado de obter resultados dos ensaios em postes nos quais as fissuras não eram visíveis a olho nu. A Amostra 1 ilustra o primeiro poste escolhido para o ensaios e está representada na Figura 11. Nela constata-se que na região direita da figura (destaca pela elipse) há uma falha na uniformidade do poste, que refere-se a falta de homogeneidade do concreto analisado. Este fato deve-se pela presença de fissuras no elemento analisado, fazendo com que as ondas ultrassônicas não sejam propagadas. Em outras palavras, pode-se concluir que regiões

Figura 10 - (a) e (b) análise dos postes danificados.



(a)



(b)

onde apresentam vazios brancos (sem tonalidade de cores) ocorreu a ruptura do elemento analisado, representando assim a região fissurada do poste analisado.

A Figura 12 apresenta o resultado obtido para a Amostra 2, onde observa-se que ocorreu um nível menor de fissuração do elemento (destacado pela elipse), indicando que o poste não foi submetido a um elevando nível de esforço no segmento analisado. A partir da imagem constata-se que na região a direita da imagem o elemento não foi submetido a esforços significativos nesta região, ficando íntegro o concreto nesta região.

A Figura 13 ilustra o resultado obtido para a Amostra 3, representando a imagem tomográfica da amostra. Esta imagem representa um poste novo e íntegro.

Figura 11 - Tomografia 3D Amostra 1.

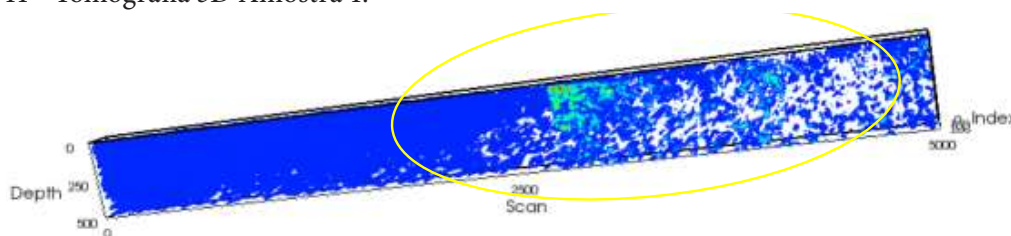


Figura 12 - Tomografia 3D da Amostra 2.

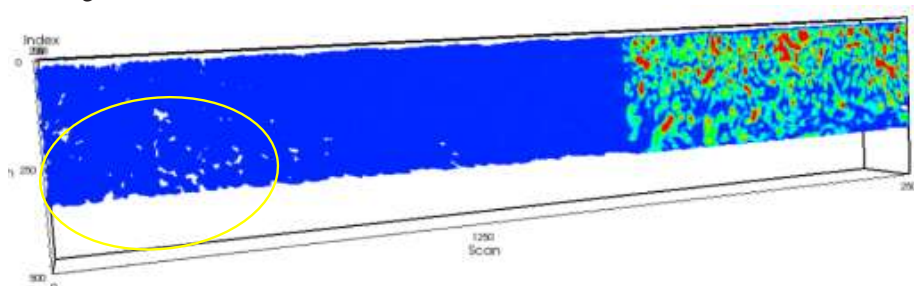
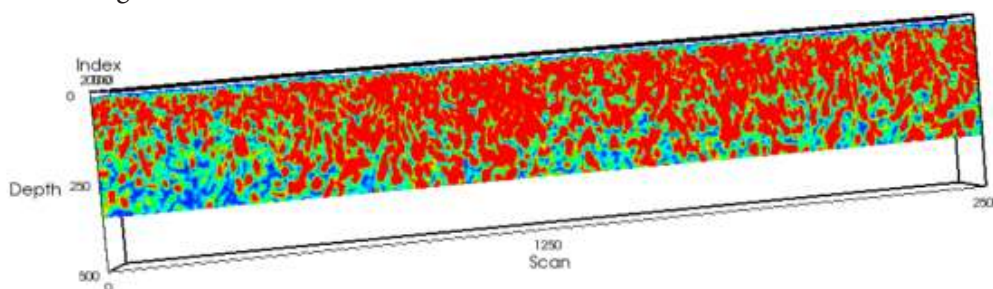


Figura 13 - Tomografia 3D Amostra 3.

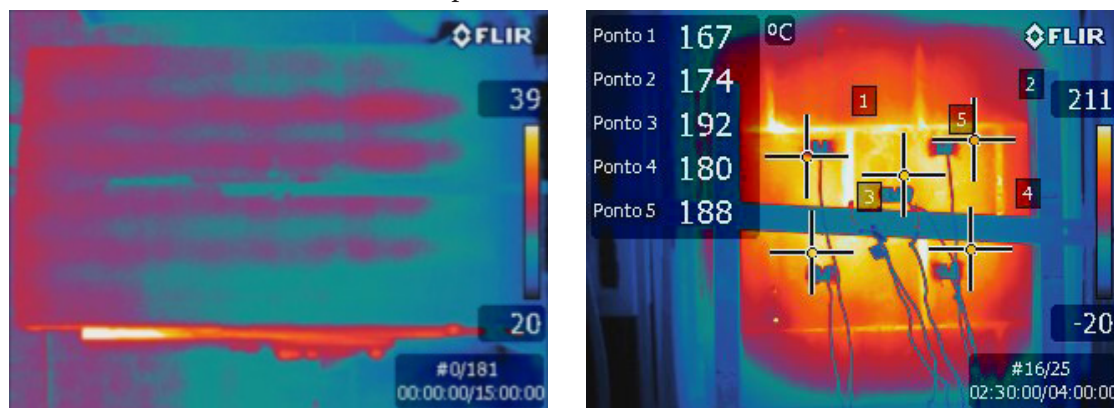


3.4 ESTUDO DE CASO 4

O presente estudo de caso ilustra a aplicação da termografia de infravermelho. A Figura 14 (a) apresenta o comportamento de duas paredes submetidas aos ensaios de ação de calor e choque térmico e a Figura 14 (b) o ensaio de resistência ao fogo.

Neste estudo a termografia permite o acompanhamento da distribuição da temperatura ao longo do elemento, visualizando a distribuição de calor no decorrer do ensaio. Juntamente é possível identificar os pontos de fuga de calor durante a execução dos ensaios, corrigindo-os no decorrer do mesmo.

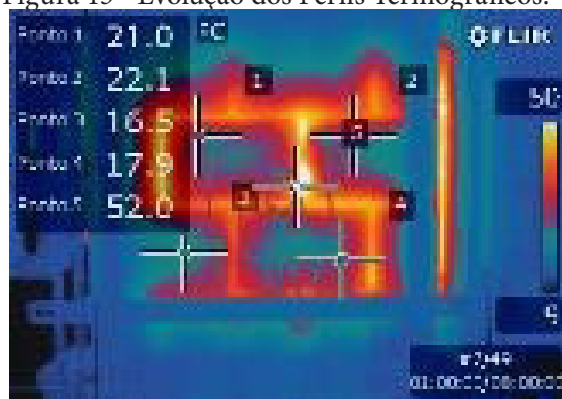
Figura 14 - Execução do Termografia: (a) Ensaio de ação de calor e choque térmico em parede na escala real e (b) ensaio de resistência a altas temperaturas.



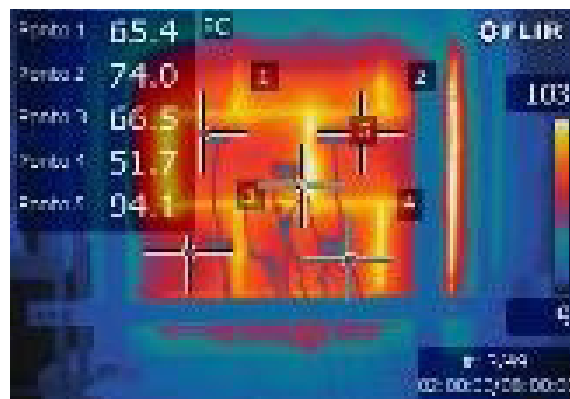
A Figura 15 demonstra a evolução das temperaturas durante a execução do ensaio. Pode-se observar nitidamente a fuga de temperatura pela

argamassa de rejuntamento e pelas laterais da miniparede.

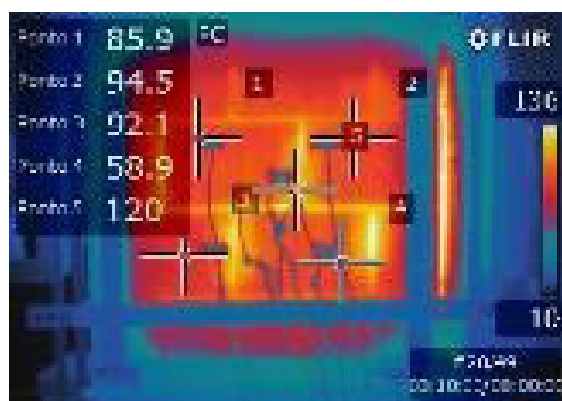
Figura 15 - Evolução dos Perfis Termograficos.



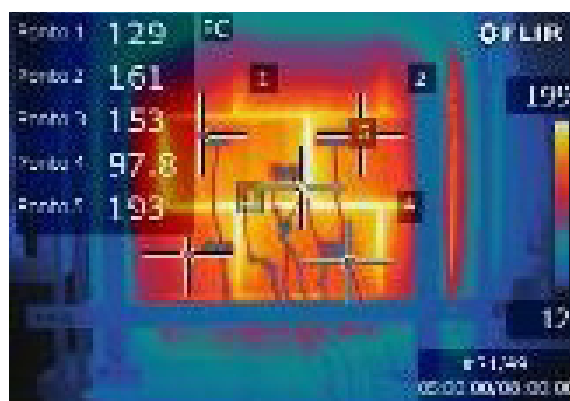
1 hora



2 horas



2 horas



5 horas

4 CONCLUSÕES

Impulsionadas pela necessidade de se obter estruturas de concreto com alto padrão de qualidade e durabilidade, as pesquisas referentes aos ENDs têm buscado entender as capacidades e li-

mitações de cada ensaio. O desconhecimento da real situação em que se encontra uma estrutura é um fator complicador nas intervenções em estruturas deterioradas ou sob suspeita. A falta de informação, numa situação de caráter emergencial, pode fazer com que se tomem decisões conserva-

doras, aumentando o escopo e complexidade das intervenções previstas, aumentando custos ou gerando transtornos adicionais para seus usuários. O uso de ensaios tipo END pode auxiliar na tomada de decisão e estabelecimento de estratégias de intervenção.

De forma geral, os estudos de caso reforçam a ideia de que a utilização de END são ferramentas úteis para a análise de estruturas, visto que os dados obtidos permitem verificar, por exemplo, a presença de corpos estranhos e vazios na viga de teste. Confirma-se assim a ideia de que os mesmos têm grande potencial de utilização nos casos de inspeção de estruturas. Seu emprego permite obter indicações importantes para a caracterização do concreto, bem como dados sobre a homogeneidade e a qualidade da estrutura.

REFERÊNCIAS

- [1] ANDRADE, T., Tópicos sobre Durabilidade do Concreto. In: ISAIA, G. C. (Editor), *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. cap.25, vol.1, p. 753-792.
- [2] FIGUEIREDO, E. P., Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência, Fissuras e Deformações. In: ISAIA, G. C. (Editor), *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 33, vol. 2, p. 985-1015.
- [3] BEUTEL, R., REINHARDT, H., GROSSE, C. U., GLAUBITT, A., KRAUSE, M., MAIERHOFER, C., ALGERNON, D., WIGGENHAUSER, H., SCHICKERT, M., Performance Demonstration of Non-Destructive Testing Methods. In: EUROPEAN NDT CONFERENCE (ECNDT 2006), 9, 2006, Berlin. *Proceedings....* Berlin: The German Society for Non-Destructive Testing, 2006. Disponível em: <<http://www.ndt.net>>.
- [4] CHO, Y. S., Non-destructive Testing of High Strength Concrete using Spectral Analysis of Surface Waves. *NDT&E International*. [s.l.], n. 36, p. 229-235, 2003.
- [5] ISAIA, G.C., Sustentabilidade do Concreto ou das Estruturas de Concreto? Uma Questão de Durabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO (COBRACON 2002), 44, 2002, Belo Horizonte. *Anais....* São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2002. Arquivo: V024, 16p. 1 CD-ROM.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IAEA-TCS-17: *Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. Viena: 2002, 231 p.
- [7] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, *Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contact Method*. Vol. 03.03 Nondestructive Testing. West Conshohocken: ASTM E 114-95, 1995, 920 p., p. 12-15.
- [8] BAUER, E. ; CASTRO, E. K.; OLIVEIRA FILHO, A. H.; PAVÓN, E.; Critérios para aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios. In: *1º Encontro Luso-Basileiro de degradação em estruturas de concreto armado*. Salvador. 2014.
- [9] VAN LEEUWEN, J; NAHANT, M; PAEZ, S. Study of Pulsed Phase Thermography for the Detection of Honeycombing Defects in Concrete Structures. *e-Journal of Nondestructive Testing*, In: *NDT&E of Composite Materials*, 2011.
- [10] HOEGH, K.; KHAZANOVICH, L. Correlation Analysis of 2D Tomographic Images for Flaw Detection in Pavements. *ASTM Journal Of Testing And Evaluation*, 2012, Vol.40 (2), pp. 247-255.
- [11] ACOUSTIC CONTROL SYSTEMS, Disponível em: <<http://acsys.ru/eng/>>. Acesso em: 15 jun. 2014.
- [12] LORENZI, A., REGINATO, L. A., FAVERO, R. B., CHIES, J. A., CAETANO, L. F., SILVA FILHO, L. C. P., "Tomografia Ultrassônica 3D para Avaliação de Estruturas de Concreto", *Téchne: Revista de Tecnologia da Construção*. São Paulo, v. 198, p. 36-44, 2013.

ABSTRACT

Concrete is a material widely used for performing structural elements in construction. Because of this, there is a growing concern about the knowledge of state of deterioration and safety of concrete. This stimulates the search for methods to evaluate concrete structures. Many of reinforced concrete that forms a part of infrastructure in American countries are approaching to the end of project life-time. There is growing concern about the state of deterioration and their safety. Constant monitoring of structures is a necessary procedure, since the preventive detection of problems allows the use of simpler and cost-effective methods for evaluation and repair. Nondestructive testing (NDT) becomes a research strategy quite attractive and viable to monitor these structures. Experiences accumulated by the Research Group LEME indicate that NDT applications can successfully contribute to quality control and deterioration control of concrete structures. This article shows how combinations of NDT tests can be employed to control the concrete structures as fundamental tools of diagnosis and shows case studies developed by the Research Group LEME-UFRGS about the application of NDT.

Keywords: NDT. Concrete structures. Structures evaluation.